

# 해남지역 은산 및 모이산 천열수 금은광상의 유체진화

김창성<sup>1)</sup>, 최선규<sup>1)</sup>, 유인창<sup>2)</sup>, 김상엽<sup>3)</sup>, 유봉철<sup>4)</sup>, 이현구<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

전라남도 해남군 황산명 부곡리에 위치하는 천열수 금은광상인 은산 및 모이산광상은 현재 우리나라에서 가행 중인 유일한 금은광상이다. 2002년부터 채광을 시작한 은산광상은 현재까지 금 약 460kg, 은 약 18,000kg를 생산하는 등 현재에도 활발한 채굴작업을 진행하고 있으며, 모이산광상은 현재 시추탐사를 지속적으로 실시하여 생산활동을 위한 막바지 경제성 검토단계에 있다.

본 연구에서는 은산 및 모이산광상의 서로 대비되는 합셀레늄, 합텔루륨 광화작용의 상호관계 및 형성기작을 광물학적, 지구화학 연구 등 다양한 방법을 통하여 해석해 보고자 한다.

## 2. 지질 및 광상개요

해남분지는 백악기 후기 매우 활발한 화산활동이 일어났던 지역으로, 대부분 화산암, 화산쇄설암 및 퇴적암으로 구성된다. 층서는 하부로부터 화원층(103.4~92.7 Ma), 우항리층, 황산층(86.4~81.4 Ma), 진도층(76.3~66.2 Ma)으로 구성되어 있으며, 섬록암, 흑운모 화강암, 반암(81.5~70.6 Ma) 등이 이들을 관입하고 있다(Chun and Chough, 1995). 화원층은 주로 안산암질의 화산쇄설물로 래필리(lappili)를 포함하는 경우가 많으며, 안산암과 현무암이 부분적으로 산출한다. 우항리층은 하천 혹은 호소환경에서 형성된 퇴적암으로 석회질의 실트암 내지 사암으로 구성된다. 황산층은 석영안산암질 또는 유문암질의 화산쇄설물이며, 진도층은 유문암 및 유문암질 화산쇄설물로 구성된다.

은산광상은 점토질 내지 실트질의 퇴적암과 화산암을 주된 모암으로 한다(그림 1). 규화작용, 견운모화작용이 인지되는데, 맥과의 접촉부는 부분적으로 강한 규화작용을 받았다. 모이산광상의 모암은 상대적으로 퇴적암은 거의 관찰되지 않고 안산암 내지 석영안산암질의 화산암류로 구성된다(그림 1). 상대적으로 변질은 강하지 않으며, 지표부근의 상부에서는 적철석의 침전에 의해 붉은 색을 띠고 있다.

주변에는 성산(부곡), 옥매산광산 등의 명반석 및 고령토를 대상으로 하는 비금속광산이 위치하는데, K-Ar 절대연령은 81.4~71.8 Ma로 보고된 바 있어, 이 지역이 화산활동에 수반되는 천부 변질작용이 광범위하게 진행되었음을 알 수 있다. 그러나 모이산광상에서 산출하는 아돌라리아에 대한 K-Ar 절대연령 측정결과는 47.0±0.9 Ma이다.

은산 및 모이산광상 석영맥의 주향과 경사는 N60~75W, 수직으로 거의 평행하다. 은산광상의 Ag/Au 값은 광산을 동서로 구분하였을 때, 동쪽부분에서 약 100, 서쪽에서 1로 이중

---

Keyword: 천열수, 금은광상, 셀레늄, 텔루륨, 해남

3) 고려대학교 지구환경과학과 ([cskim72@korea.ac.kr](mailto:cskim72@korea.ac.kr))

2) 경북대학교 지질학과

3) 순신개발

4) 충남대학교 지구환경과학과

피크를 보여주고 있는 반면, 모이산광상은 약 10 정도의 단일피크로 나타난다.

### 3. 맥의 조직 및 구성광물

은산광상의 석영맥은 수 cm ~ 수 m의 폭으로 매우 다양하며, 주로 석영, 칼세도니, 탄산염광물들의 밴드상, 콜로폼, 각력화, 벌집(comb) 조직으로 산출한다. 광상의 동쪽 상부 맥은 수 m의 매우 큰 폭으로 나타내며, 각력화조직, 판상석영, 아들라리아 등 다양한 비등의 증거들을 발견할 수 있으며, 최후기에 다량의 탄산염광물들이 침전되어 있다. 반면, 광상의 하부 및 서쪽에 배태되는 석영맥은 cm 단위의 세맥상으로 대부분 벌집(comb) 조직으로 나타나며, 탄산염광물은 현저히 줄어드는 양상을 보인다.

모이산광상의 석영맥은 수 mm ~ 수 m의 폭으로 은산맥에 비해 상대적으로 작다. 광화작용은 해발 약 -20 m 이하에서 인지되며(정상부분은 해발 약 90 m이다.), 그 상부에서는 매우 미약하다. 지표에서는 적철석의 침전에 의해 붉은 색을 띠고 있으며, 리제강링(Liesegang ring)이 관찰된다.

### 4. 광석광물

은산 및 모이산광상의 차이점은 광석광물에서 확연하게 나타난다(표 1). 은산광상의 경우 셀레늄(Se)을 포함하는 광물인 나우만나이트(naumannite), 아퀼러라이트(aguilarite)가 휘은석, 자연은 그리고 함은황염광물들과 공존하여 산출하며, 금은 에렉트럼의 형태로 관찰되는 반면, 모이산광상은 텔루륨(Te)을 포함하는 다양한 광물(자연텔루륨, native Te; 헤사이트, hessite; 등)이 섬아연석, 방연석의 후기에 산출하며, 금 또한 함텔루륨광물인 실바나이트(sylvanite, AuAgTe<sub>4</sub>)의 형태로 나타난다.

은산광상에서 산출하는 에렉트럼을 산출양상에 따라 구분하여보면, 다음의 네 가지 형태로 구분된다; 1) 황철석 내에 점적으로 산출하는 에렉트럼(그림 2, 어두운 회색), 2) 황철석의

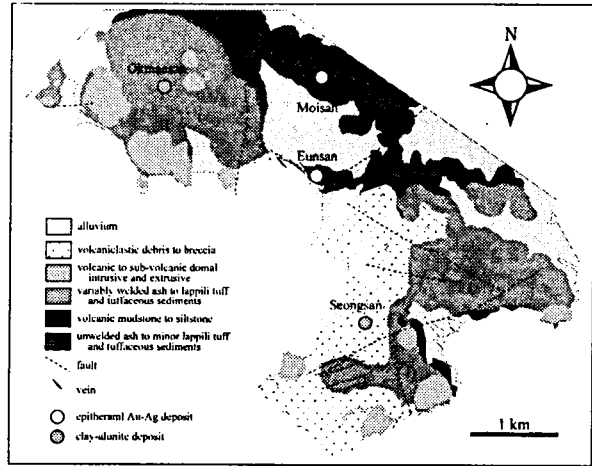


Figure 1. Geologic map of the Eunsan and Moisan deposits. Sedimentary rocks, mudstone and siltstone, occur at the Eunsan deposit.

Table 2. Ore mineralogy of the Eunsan and Moisan deposits.

Ore Mineralogy	Eunsan (Se-type)	Moisan (Te-type)
hematite	rare	common (variable)
pyrite	ubiquitous (abundant)	ubiquitous (abundant)
sphalerite	common (minor)	common
galena	common (minor)	minor
chalcocopyrite	minor	common
chalcocite	-	rare
covellite	-	rare
chalcostivite	-	rare
<b>AG-SULFOSALTS</b>	<b>minor</b>	<b>rare</b>
pearceite	minor	-
tetrahedrite	-	rare
goldfieldite (Te tetrahedrite)	-	rare
freibergite (Ag-tetrahedrite)	minor	-
stephanite	minor	-
proustite	rare	-
stannite	-	rare
argentite	common (minor)	-
<b>AU-AG</b>	<b>minor</b>	-
electrum	rare	-
native silver	common (minor)	-
<b>TELLURIDES</b>	-	<b>common (minor)</b>
sylvanite ( AuAgTe <sub>4</sub> )	-	minor
stuetzite ( Ag <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> )	-	minor
frohbergite(FeTe <sub>2</sub> )	-	minor
native tellurium	-	minor
empressite ( AgTe )	-	rare
hessite ( Ag <sub>2</sub> Te )	-	rare
altaite ( PbTe )	-	rare
wehrlite ( BiTe )	-	rare
tellurobismuthite ( Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> )	-	rare
<b>SELENIDES</b>	<b>rare</b>	-
aguilarite ( Ag <sub>2</sub> Se )	rare	-
naumannite ( Ag <sub>2</sub> Se )	rare	-

갈라진 틈(crack)을 따라 혹은 황철석과 접하여 존재하는 에렉트럼(두 경우는 연속적인 산출상임.), 3) 석영 내에 단독으로 산출하는 에렉트럼, 4) 함은황염광물, 휘은석 또는 자연은과 공존하는 에렉트럼. 이들 중 3번과 4번에 해당하는 형태의 에렉트럼이 대부분을 차지하고 있으며(그림 2, 밝은 회색), 이때 조성은 < 40 atomic % Au이다. 산출양상에 기초하면 은산광상의 에렉트럼은 광화가 진행됨에 따라 금의 함량이 낮아지는 경향을 보인다.

은산 및 모이산광상에서는 테트라헤드라이트, 프라이버자이트, 골드필다이트가 산출하는데, 은산 광상에서는 프라이버자이트 만이, 그리고 모이산 광상에서는 테트라헤드라이트와 골드필다이트 만이 산출하는 특징이 나타난다. 이들의 Ag/(Ag+Cu), Sb/(Sb+As+Te) 및 Zn/(Zn+Fe)의 평균값은 각각 은산광상 0.44, 0.79, 0.08, 모이산광상 0.01, 0.74, 0.73이다(그림 3).

### 5. 생성환경

은산광상에서 산출하는 에렉트럼과 섬아연석을 이용하여 Fe-Zn-S와 Au-Ag-S 시스템에 의한 지질온도계(Scott and Barns, 1971, Barton and Toulmin, 1964)를 적용시킨 결과 은산광상의 금은 광화작용의 온도는 164~283°C이다. 그러나 주 광화시기를 고려할 경우 230°C 미만의 온도권이 설정될 수 있다. 또한, 은산광상에서 산출하는 프라이버자이트는 섬아연석, 피라지라이트(pyrargyrite)와 공존하고 있어 Sack et al. (2002)에 의해 제시된 열역학관계에 의해 광화온도의 계산이 가능하며, 이에 적용한 결과 250°C 이하의 온도권을 설정할 수 있다. 은산 및 모이산광상 유체포유물의 균질화온도 및 염농도는 각각 113~298°C, 0~1.7 wt.% equiv. NaCl and 133~324°C, 0~1.7 wt.% equiv. NaCl이며, 이는 광화작용이 매우 낮은 깊이에서 지표수에 주된 영향을 받았음을 시사한다. 특히, 은산광상의 유체포유물에서는 액상이 부화된 것과 기상이 부화된 것이 공존하고 있는 현상이 관찰되며, 이는 광화작용이 일어난 위치에서 활발한 비등현상이 일어났음을 지시한다. 산소-수소 안정동위원소 값( $\delta^{18}O$ ,  $\delta D$ )은 은산과 모이산광상 각각 -7.1~-2.1‰, -68~-61‰과 -4.9~-2.3‰, -65~-62‰이며, 이는 광화유체가 마그마수보다는 천수에 기인하였음을 지시한다.

### 6. 토 의

은산과 모이산광상 간의 관계는 기 보고된 연구에서 단일 순환시스템에서 열적 중심으로

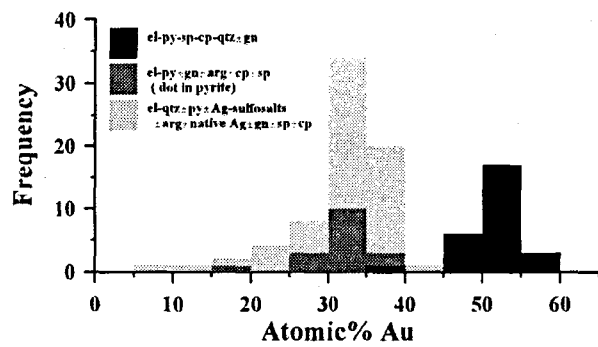


Figure 2. Frequency diagram of Au contents in electrum from the Eunsan deposit shows two peaks about 35% and 50%. But main Au composition is low

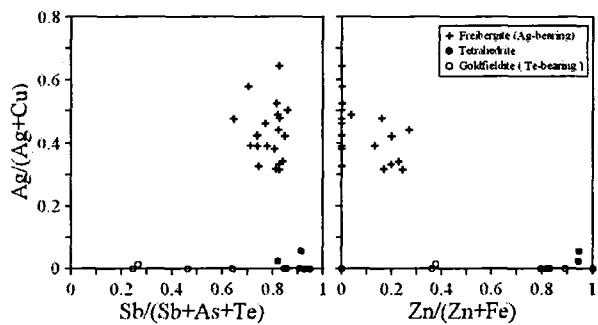


Figure 3. Atomic distributions of Ag, Sb and Zn in fahlores occurred in the Eunsan and Moisan deposits. Ag contents of fahlores from the Eunsan deposit are higher than that of the Moisan deposit, while FeS contents show reverse relationships.

부터의 위치에 관련되어, 모이산광상이 은산광상에 비해 상대적으로 중심에 가까운 위치에서 광화되었을 가능성을 제시한 바 있다(Choi et al., 2004; Choi et al., 2005). 사면동석 그룹 광물은 단일광상 내에서도 다양한 상으로 산출하여, 광상의 공간적 진화를 설명할 수 있는 광물로 보고되어 있다(Hackbarth and Petersen, 1984). 사면동석의 Ag 및 Sb함량은 은상광상이 모이산광상에 비해 상당히 부화되어 있으며, 이는 은산이 모이산에 비해 중심으로 부터 더 떨어져 있음을 지시하는 하나의 증거가 될 것이다.

은산 및 모이산광상의 유체진화는 각각 에렉트럼과 함텔루륨광물에 기준하여 해석이 가능하다. 은산광상의 에렉트럼을 산출양상에 의한 침전시기를 고려하면 초기의 황철석의 틈을 충전하거나 그와 연결되어 황철석의 주변에 침전되는 형태와 그 이후에 주 광화시기로서 황철석에 포획 또는 이를 둘러싸거나 석영 내에서 단독으로 존재하는 형태로 구분할 수 있다. 초기의 에렉트럼은 섬아연석, 황동석, 방연석 등의 베이스메탈들과 공존하고 있는 반면, 주 광화시기의 에렉트럼은 주로 함은황염광물, 휘은석과 공존하고 있으며 자연은과는 점이적인 변화관계에 있다. 이에 따른 에렉트럼 내의 금함량은 초기의 > 45 atomic % Au에서 주 광화시기에는 < 40 atomic % Au로 은이 부화되는 양상이 나타난다. 이와 공존하고 있는 섬아연석 내의 Fe 함량과의 열역학 관계에서 은산광상의 유체는 초기 약 300℃ 부근에서 광화작용이 시작되지만, 주된 광화작용 온도는 230℃ 미만의 매우 낮은 온도의 유체로부터 이루어졌음을 지시한다. 이는 유체포유물에서 설정된 균질화온도와도 매우 잘 일치하는 결과이다. 모이산광상의 함텔루륨광물들은 섬아연석, 황동석 등의 황화광물 침전 후기에 산출하는데, 이들 내에서의 원소의 변화 양상은 Bi - Au, Ag, Fe - Ag - Pb의 순서이며, 자연텔루륨이 실바나이트와 함께 산출한다. 또한, 사면동석 그룹 광물은 함텔루륨광화작용의 후기에 산출하는데, 텔루륨을 포함하는 골드필다이트로부터 테트라헤드라이트로 변화하는 양상이 관찰된다. 따라서, 모이산광상의 광화작용 중의 한 시기에 함텔루륨광화작용은 황의 변화보다는 텔루륨의 유입에 의해 이루어진 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- Barton P.B.Jr. and Toulmin P., 1964, The electrom- tarnish method for the determination of the fugacity of sulfur in laboratory sulfide systems. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 28, 619-640.
- Choi S.G., Kim C.S., Ryu I.C., Wee S.M., and Kim S.Y., 2004; The first occurrence of Se- and Te-bearing epithermal Au-Ag mineralization, Korea. CD Abstract. The 32nd International Geological Congress. Italy.
- Choi S.G., Ryu I.C., Pak S.J., Wee S.M., Kim C.S., and Park M.E., 2005, Cretaceous epithermal gold - silver mineralization and geodynamic environment, Korea. *Ore Geology Reveiws*, 26, 115-135.
- Chun S.S. and Chough S.K., 1995, The Cretaceous Uhangri Formation, SW Korea: Lacustrine margin facies. *Sedimentology* 42, 293-322
- Hackbarth C.J. and Petersen U., 1984, A fractional crystallization model for the deposition of argentian tetrahedrite. *Economic Geology*, 79, 448-460.
- Kim C.S., Choi S.G., Kim S.Y., Kim W.J., and Rovillos J., 2003, Mineralogical characteristics of Se- and Te-bearing epithermal gold-silver deposits: Eunsan and Moisan veins. 2003년도 춘계 학술발표회 논문집, 대한자원환경지질학회, 180-183.
- Sack R.O., Kuehner S.M., and Hardy L.S., 2002, Retrograde Ag-enrichment in fahlores from the Coeur d'Alene mining district, Idaho, USA. *Mineralogical Magazine*, 66, 215-229.
- Scott, S.D. and Barnes, H.L., 1971, Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Economic Geology*, 66, 653-669.
- Shelton K.L., So C.S., Haeussler G.T., Chi S.J., and Lee K.Y., 1990, Geochemical studies of the Tongyoung gold-silver deposits, Republic of Korea: evidence of meteoric water dominance in a Te-bearing epithermal system. *Economic Geology*, 85, 1114-1132.